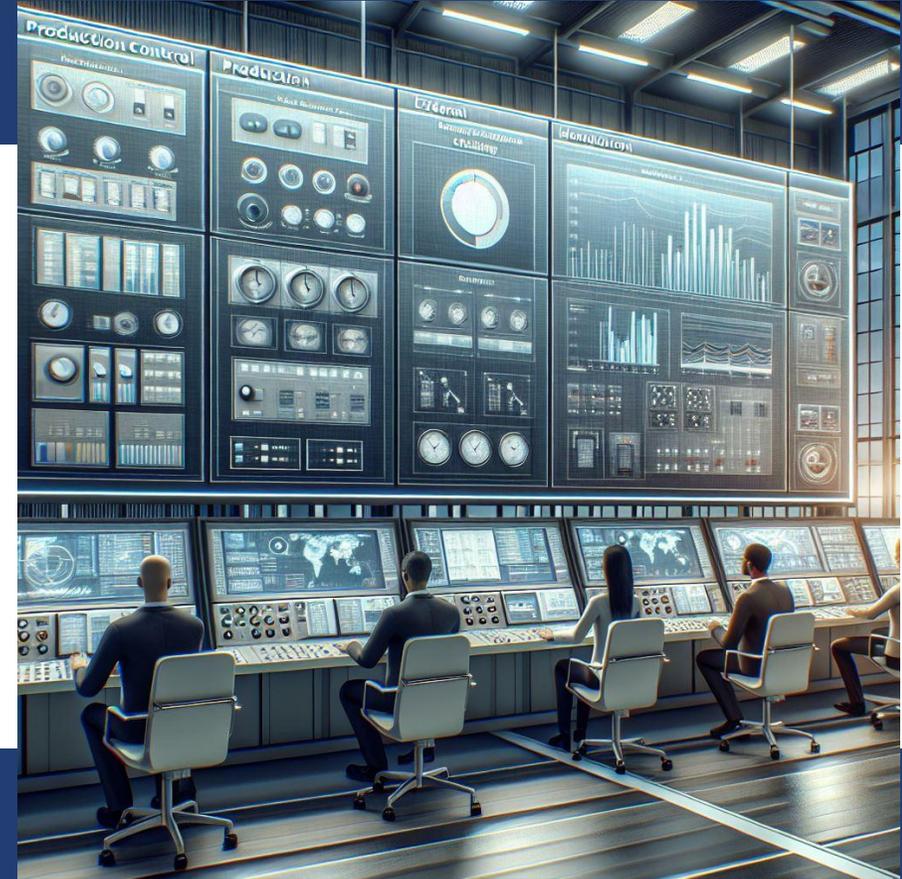




Universidad  
Zaragoza

# Tema 8. Control y monitorización de la producción.



# Control y monitorización de la producción. Introducción

## Introducción

En los anteriores capítulos quedaba descrito qué se iba a fabricar, cómo se planificaba la producción y que alternativas hay en cuanto a gestión de entorno productivo, desde su organización hasta su disposición en planta y procesos de manufacturas. Tendríamos por lo tanto ya la producción en marcha y operativa, fabricando piezas.

En este punto, nos quedaría ahora establecer **cómo medimos** que la producción está **rindiendo** según lo establecido.

En este capítulo veremos qué **indicadores** que pueden resultara adecuados para este objetivo y que sistemas hay disponibles para ayudarnos en este aspecto.

Este concepto de sistemas de control se puede confundir con el visto anteriormente en el apartado de automatización: en la automatización, se entiende por sistemas de control a aquellos que supervisan y regulan las instalaciones productivas para que trabajen de la forma en la que han sido diseñadas, en función de la lectura que hacen del estado de situación de los elementos que componen el sistema (piezas, estaciones, robots, utillajes, transportadores, etc.).

En este capítulo, sin embargo, nos centramos en controlar lo que tiene que ver con el volumen de producción, los tiempos empleados para llevar a cabo esa producción y la eficiencia con la que se está produciendo.

# Control y monitorización de la producción. Introducción

## Definiciones y consideraciones

Monitorización y Control son conceptos ligeramente distintos:

- **Monitorización** se refiere a la observación en tiempo real del estado y funcionamiento de los sistemas productivos.
- **Control** tiene que ver con la supervisión de ese estado de los sistemas y las acciones que se derivan de esa lectura para estar en coherencia con la planificación y programas previamente establecidos.

La necesidad de medir queda bien explicada por estas frases que, con diferentes matices y variantes, se atribuyen a distintos autores como el físico y matemático William Thomson Kelvin, William Pepperell Montague y Peter Drucker:

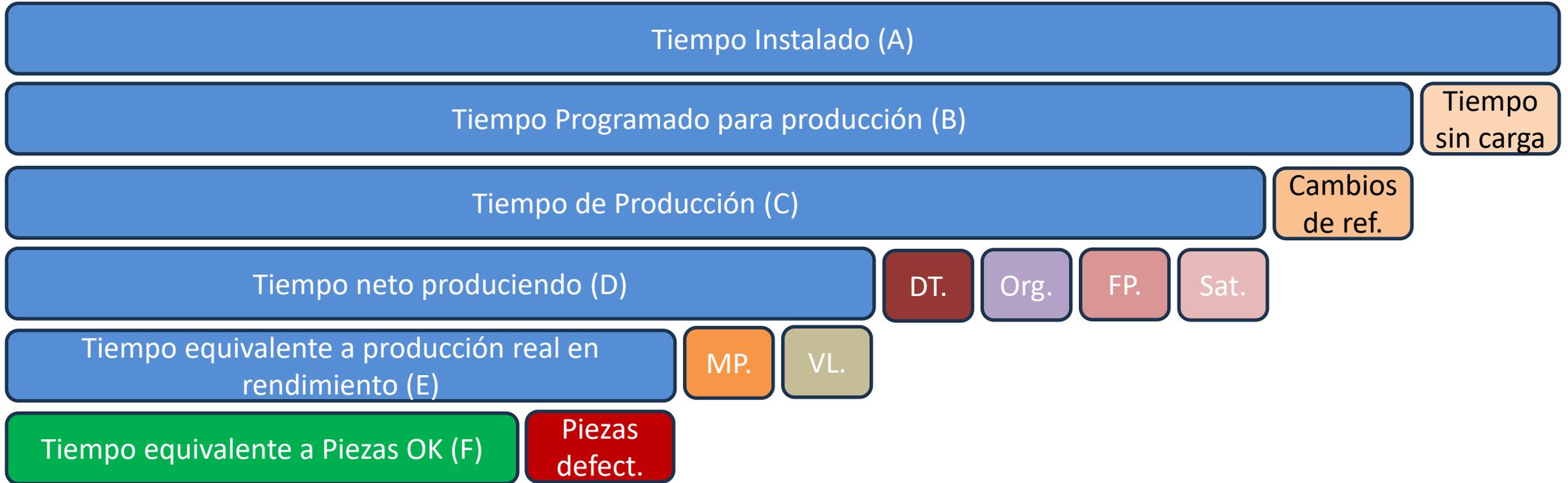
*Cuando puedes medir algo y expresarlo en números, sabes algo del asunto, pero si no puedes medirlo, tu conocimiento es pobre.*

*Lo que no se define no se puede medir, y lo que no se mide, no se puede gestionar y no se puede mejorar (porque no sabemos cuándo lo estamos mejorando).*

# Tiempos y eventos en producción

## El desglose del tiempo en producción

En el siguiente gráfico vamos a ver cómo se descompone el tiempo en el entorno productivo.



# Tiempos y eventos en producción

## El desglose del tiempo en producción

### Tiempo instalado (A):

Tiempo total que tiene el periodo que estamos contemplando. En el caso de un turno de producción normal, serían por ejemplo las 8 horas. En el caso de tener por ejemplo dos máquinas exactamente iguales, se puede contemplar aquí el total de horas instaladas (que sería en este caso 16 h.) si se quiere observar el conjunto de las instalaciones como un todo, aunque agruparlo así no daría visibilidad individualizada por máquina sobre dónde están los problemas.

### Tiempo sin carga:

Es el tiempo que se decide voluntariamente no trabajar en la maquina, por ejemplo, por (entre otras causas posibles):

- Descansos pactados.
- Mantenimiento programado.
- Falta de pedidos o de piezas unitarias en stock para fabricar.
- Falta de personal (operarios asignados a otras máquinas).

### Tiempo programado para producción (B):

Es el tiempo instalado (A) menos las horas sin carga. Es el tiempo donde la máquina está asignada para producir y el tiempo en el que vamos a controlar lo que pasa.

# Tiempos y eventos en producción

## El desglose del tiempo en producción

### ❑ Cambios de referencia:

En las máquinas en las que se hace más de un tipo de pieza, el tiempo de cambio de referencia representa el tiempo que ocupan las acciones necesarias para pasar de producir una pieza a otra distinta como, por ejemplo, el cambio de utillaje, tiempo de parametrización de la máquina, de configuración del puesto de trabajo (cambio de contenedores de piezas unitarias en frente de la máquina), etc.

Este tiempo, que está dentro del asignado a producción, se quita de la ecuación porque no supone una imposibilidad de producir, sino una circunstancia motivada por una decisión de programación de la producción.

### ❑ Tiempo de producción (C):

Tiempo en el que realmente la máquina debería estar produciendo piezas.

→ Hasta aquí, los tiempos que hemos quitado son aquellos en los que la máquina está parada por decisiones que son más o menos voluntarias, pero conocidas y planeadas.

Una vez la máquina está produciendo, hay varias incidencias que pueden hacer que la máquina no sea capaz de producir temporalmente:

# Tiempos y eventos en producción

## El desglose del tiempo en producción

DT: Downtime o Averías

DT.

Tiempo en el que la máquina está parada por alguna avería (de cualquier naturaleza) de sus componentes o de su modo de funcionamiento.

Perdidas por motivos organizativos:

Org.

Se incluirían aquí paros por motivos como, entre otros:

- Operario asignado a la máquina ausente (distinto del caso de horas sin carga por operario asignado a otra máquina).
- Falta de material (distinto del caso de horas sin carga: en ese caso, las piezas no están en fábrica, por lo que se decide no producir. En este caso, las piezas están, pero Movimiento de materiales / Logística no las lleva a tiempo a pie de línea para hacerlas disponibles para producir).

Falta de piezas: provenientes de un proceso anterior, si es el caso.

FP.

Saturación: Imposibilidad de entregar al siguiente proceso por estar lleno, si es el caso.

Sat.

# Tiempos y eventos en producción

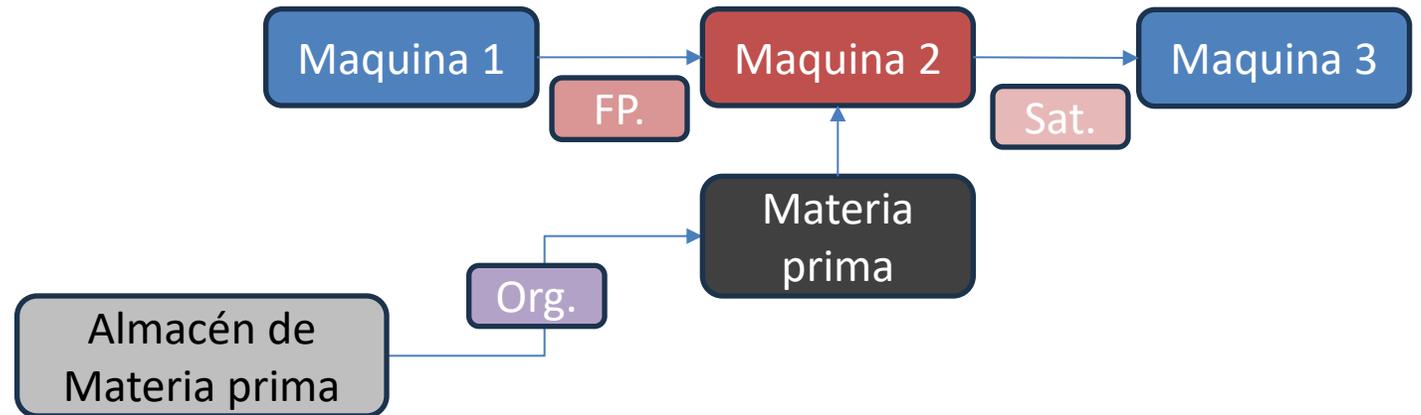
## El desglose del tiempo en producción. Explicación

### Aclaraciones sobre los distintos “Falta Pieza” vistos hasta ahora:

Puede resultar confuso los distintos conceptos que hemos denominado de forma idéntica como Falta de pieza.

La razón para distinguirlos es que, en este punto, es imprescindible anotar la ineficiencia a la razón correcta, ya que la solución para cada una será necesariamente distinta.

Supongamos que tenemos una máquina de fabricación mecánica que recibe un subconjunto de otra máquina que hace un proceso anterior, le añade otros materiales y procesos y, el nuevo conjunto, lo envía a una máquina para continuar con un proceso posterior. El esquema sería como sigue:



# Tiempos y eventos en producción

## El desglose del tiempo en producción. Explicación

### Aclaraciones sobre los distintos “Falta Pieza” vistos hasta ahora:

- Si la materia prima no está ni siquiera disponible en el almacén (no ha llegado por parte del proveedor de suministros), lógicamente no se va a programar producción en una máquina que requiere esa materia. Esto sería el “Falta de piezas unitarias en stock para fabricar” que se ha visto en “Horas sin carga”.
- Si la pieza está en el almacén, la máquina esta produciendo, y el carretillero encargado de traer los contenedores a pie de máquina se retrasa, eso se traduce en un tiempo de paro sin producir, pero ajeno a las causas de la máquina. Es el “Falta de material” visto en el apartado de “Perdidas por motivos organizativos”.
- Si la pieza que le falta es un subconjunto que le ha de llegar de un proceso anterior, entonces esa falta de pieza es distinta y puede ser debida a un desequilibrio en las cargas de producción de los distintos procesos de la línea (recordar lo visto en el capítulo de Lean Manufacturing), al transportador o pulmón de piezas intermedias que conectan ambas estaciones o de nuevo al personal responsable de movimiento de materiales por una asignación de recursos o prioridades de atención de peticiones incorrecta.
- Si la máquina 1 a acabado su pieza y no puede entregarla al siguiente proceso por estar lleno (saturado), nos encontramos de nuevo antes las razones indicadas en el apartado anterior, solo que simplemente se ha de mirar en la otra dirección.

# Tiempos y eventos en producción

## El desglose del tiempo en producción. Explicación (Continuación)

### ☐ Tiempo neto produciendo (D):

Cuando al Tiempo de producción (C) se le restan todos los conceptos vistos anteriormente, que detienen temporalmente la producción, obtenemos el tiempo que realmente se ha estado produciendo de forma continuada sin interrupciones.

En este momento tenemos que considerar el tiempo de ciclo con el que se ha diseñado la máquina, con el cual sabremos cuantas piezas deberíamos haber procesado durante ese tiempo neto produciendo, mediante una sencilla división:

$$\text{Piezas teóricas} = \frac{\text{Tiempo neto produciendo (D)}}{\text{Tiempo de ciclo por pieza}}$$

Si no hubiera más pérdidas, la producción real (E) equivaldría a este cálculo. Sin embargo, es normal que la producción real sea menor. La razón es que aún estando la máquina visiblemente trabajando, sin parar (u por lo tanto sin imputar ningún minuto de pérdida a averías, falta de piezas, etc. hay todavía dos razones que van a restar producción:

Los microparos MP. y la velocidad lenta VL.

# Tiempos y eventos en producción

## El desglose del tiempo en producción. Explicación (Continuación)

- ❑ Microparos se entiende por pequeñas averías que no llegan a generar el paro de la máquina ni a saltar la alarma. Pueden ser pequeños retrasos en las señales que tienen que informar sobre su estado, pérdidas de detección de un sensor que en las siguientes fracciones de segundo vuelven a detectar, etc.

No son averías como tal, pero retrasan la máquina ya que momentáneamente la tienen parada, durante muy pocos segundos pero que suman a lo largo de la jornada. Una buena gestión de la información disponible en los eventos del autómatas puede ayudar a detectar estas situaciones.

- ❑ Velocidad lenta se refiere a tiempo de ciclo más alto al programado y validado. Si la máquina ha de procesar una pieza cada 60 segundos y por alguna razón, se ralentiza su procesamiento y lo hace en 61 segundos, la diferencia pasará inadvertida al operario y al personal de mantenimiento (la velocidad lenta no es técnicamente una avería en si misma), y solo una buena programación de las señales y contadores de tiempo de ciclo a ciclo ayudarán a detectar esta situación.
- ❑ Producción Real (E): Es el tiempo que realmente hubiéramos necesitado para realizar la producción que hemos hecho si la hubiéramos realizado a ciclo, sin pérdida de rendimiento.
- ❑ Por último, queda una ineficiencia más, que es la de la calidad. Si de las piezas que hemos fabricado, una parte son defectuosas desde el punto de vista de calidad, la producción real, neta y usable es menor. Esta ratio se puede construir traduciendo en tiempo necesario para producir esas piezas o simplemente como el % de piezas Ok sobre el total.

# Tiempos y eventos en producción. Fórmulas

## OEE: Overall Equipment Effectiveness

❑ Con todos estos datos se calculan las ratios de **disponibilidad, rendimiento y calidad**:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo neto produciendo}}{\text{Tiempo Programado Para Producción}} = \frac{D}{B}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Producción Real}}{\text{Tiempo Neto produciendo}} = \frac{E}{D}$$

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Tiempo equivalente piezas OK}}{\text{Tiempo producción Real}} = \frac{F}{E}$$

❑ Y con ellos, se calcula el **OEE**: Overall Equipment Effectiveness (Eficiencia Global del Equipo):

$$\text{OEE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Rendimiento} \times \text{Calidad}$$

Se considera que un OEE igual o superior al **85%** es World Class y es un valor a menudo usado por defecto en las simulaciones de plantas productivas.

OEE es un concepto que viene del TPM (Total Productive Maintenance, visto en el capítulo 4 de este curso). Este valor del 85% es sugerido por el autor del concepto y es original de esa época (años 60-80). Es en cualquier caso un convenio que se ha mantenido pero que cada organización debe fijar, como objetivo, en función de su punto de partida y sus circunstancias.

# Tiempos y eventos en producción. Fórmulas.

## Otras ratios

- ❑ Si agrupamos la disponibilidad y el rendimiento, es decir, si juntamos todas las posibles ineficiencias (ya sea porque la máquina no funciona bien o por lo que penaliza el tiempo de cambio, sin distinguir entre ellas), pero dejando a parte las ineficiencias de calidad, que tiene su propia ratio, podríamos hablar de:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Tiempo Producción Real}}{\text{Tiempo Programado}} = \frac{E}{B}$$

- ❑ Otra ratio que puede ser de interés tener en cuenta y que englobaría todo lo visto, de principio a fin, sería la capacidad utilizada, para medir en qué medida la capacidad instalada se ha podido aprovechar en producción de piezas correctas:

$$\text{Capacidad Utilizada} = \frac{\text{Tiempo Equivalente a piezas OK}}{\text{Tiempo instalado}} = \frac{F}{A}$$

# Tiempos y eventos en producción. Fórmulas.

## Takt Time y Tiempos de ciclo

A continuación, presentamos otros conceptos útiles a la hora de caracterizar la capacidad productiva de las instalaciones:

- ❑ Takt Time: Es el tiempo de ciclo en el que se tiene que procesar de forma completa una pieza en cada estación del proceso productivo para producir el volumen de piezas por unidad de tiempo que se desee (normalmente alineado con la previsión de la demanda). La fórmula es, por lo tanto:

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Cantidad de piezas}}$$

Hay que tener en cuenta que el takt time así concebido no tiene en cuenta las pérdidas de tiempo que se dan en producción (averías, falta de piezas, etc.). Si las tenemos en cuenta, recogidas en ese OEE y sabemos que son, por ejemplo, del 85%, en el diseño de ese takt time las podríamos tener en cuenta para que el tiempo de ciclo instalado nos permitiera hacer el volumen de producción objetivo aún con el 15% de ineficiencias.

- ❑ Tiempo de ciclo: Es el tiempo que realmente cuesta procesar una pieza de forma completa en una estación cuando la máquina esta funcionando (sin paros). (La medición a pie de línea del tiempo de ciclo real de pieza a pieza es la que nos puede dar idea de si hay microparos o tiempo de proceso más alto del diseñado)

**Takt Time** es un **cálculo** mientras que **Tiempo de ciclo** es una **medición**.

# KPI's de Mantenimiento.

## KPI's relativos al mantenimiento

En torno a lo que ocurre relativo al tiempo Down Time de averías, se miden dos indicadores:

- ❑ MTBF: Mean Time Between Failure: Tiempo medio entre averías.

Es el tiempo que de media la máquina está operativa entre una avería y la siguiente.

- ❑ MTTR: Mean Time to Repair: Tiempo medio para reparar la avería.

Cuando la avería ya ha ocurrido, es el tiempo que de media dura la avería hasta ser reparada.

Se debería matizar mucho y tener especial cuidado con las lecturas que se hacen en torno a estos dos parámetros, en especial con el tiempo medio para reparar la avería.

Imaginemos que tenemos un técnico de mantenimiento atendiendo 2 máquinas. Una máquina se pone en avería y acude a repararla. La reparación de la avería le lleva 10 minutos. A los 5 minutos de haber ocurrido esa avería, se produce una avería en la otra máquina. El técnico no acude porque aún está ocupado en la primera avería. Cuando ha reparado la primera avería, acude a la segunda máquina, que lleva ya parada 5 minutos. Esta segunda avería, le cuesta repararla 2 minutos. ¿Cuál sería el MTTR correcto de la avería ocurrida en la segunda máquina, 2 o 7 minutos? Y si sabemos que de los 10 minutos que ha tardado en reparar la primera avería, 5 han sido para ir a buscar el repuesto al almacén. ¿Cuál sería el MTTR correcto de la primera, 5 o 10 minutos?

Reflexiona sobre el significado de lo que estarías midiendo en ambos casos.

# Disponibilidad y KPI's de Mantenimiento.

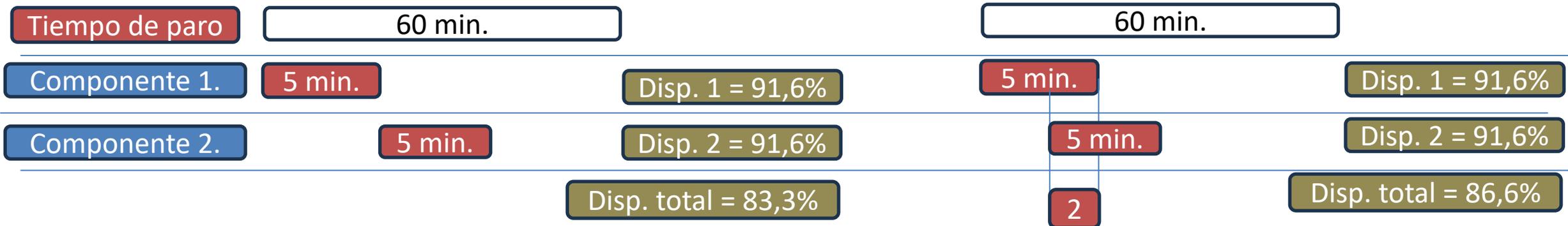
## Formula alternativa para la disponibilidad

La disponibilidad también se puede expresar en función de los dos conceptos vistos en la página anterior:

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

## Disponibilidad de un Sistema Completo

La disponibilidad de un sistema de N componentes será, en su versión más simplificada, la multiplicación de la disponibilidad de cada una de sus partes, aunque una buena simulación tendrá en cuenta cuando existen elementos redundantes y otras situaciones como, por ejemplo, que dos componentes estén en avería consecutivamente o que parte del tiempo que estén en avería sea compartido entre ambos.



En ocasiones, sobre todo refiriéndose a sistemas electrónicos o informáticos, se habla de disponibilidad como número de nueves: una disponibilidad de 4 nueves se referiría a un 99,99%

# Sistemas MES

## MES: Manufacturing Execution System

Para monitorizar todos estos indicadores, es conveniente contar con un software específico para ello. Lógicamente, un paso previo debería ser contar con los sensores y dispositivos de comunicación suficientes en planta para poder determinar todas estas situaciones que hemos visto.

Existen softwares específicos para la gestión del OEE y también otros softwares más complejos, que incorporan el cálculo y visibilidad del OEE como una parte de ellos. Estos softwares son los sistemas MES: Manufacturing Execution System y pretenden ser el brazo de los ERP a nivel de planta, es decir, conectar la planificación con la realidad de la ejecución de las operaciones en fábrica, monitorizando, gestionando y controlando los procesos de fabricación mediante la conexión e información disponible en los sistemas operacionales como los PLC.